

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200880017524.4

[51] Int. Cl.

*B22F 3/16 (2006.01)*

*B22F 3/18 (2006.01)*

*C22F 1/02 (2006.01)*

*C22F 1/16 (2006.01)*

[43] 公开日 2010年3月24日

[11] 公开号 CN 101678458A

[22] 申请日 2008.4.4

[21] 申请号 200880017524.4

[30] 优先权

[32] 2007.4.4 [33] AU [31] 2007201490

[32] 2007.4.4 [33] US [31] 60/907,491

[86] 国际申请 PCT/AU2008/000482 2008.4.4

[87] 国际公布 WO2008/122075 英 2008.10.16

[85] 进入国家阶段日期 2009.11.25

[71] 申请人 联邦科学和工业研究组织

地址 澳大利亚澳大利亚首都直辖区

[72] 发明人 N·A·斯通 R·威尔逊

M·尤萨夫 M·吉布森

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 林振波

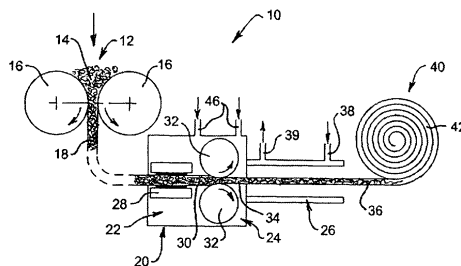
权利要求书 3 页 说明书 18 页 附图 7 页

[54] 发明名称

钛扁平制品的制造

[57] 摘要

钛扁平制品的制造：使钛粉生坯扁平材料通过预热工位，并在保护气氛下加热到至少足以进行热轧的温度。然后，预热后的扁平材料仍然在保护气氛下通过轧制工位，并进行热轧以制造出具有所需热致密化程度的热轧后的扁平制品。使该热轧后的扁平制品仍然在保护气氛下经过冷却工位，并冷却到其能够离开保护气氛的温度。在该方法中，热轧提供了所涉及的主要热致密化机制。



1. 一种制造扁平钛制品的方法，包括以下步骤：

(a) 使钛粉生坯扁平材料通过预热工位，在该预热工位，在保护气氛下将该钛粉生坯扁平材料加热到至少足以进行热轧的温度，

(b) 仍然在保护气氛下使预热后的钛粉生坯扁平材料从预热工位传送到轧制工位并通过轧制工位，并热轧预热后的制品，以制造出具有所需热致密化程度的热轧后的扁平制品；以及

(c) 仍然在保护气氛下使该热轧后的扁平制品从所述热轧工位传送到冷却工位并通过冷却工位，并且将热轧后的扁平制品冷却到使其能离开保护气氛的温度；

其中，步骤(b)中的热轧提供了该方法中涉及的主要热致密化机制。

2. 如权利要求1所述的方法，其中，在步骤(a)和(b)中钛粉生坯扁平材料处于升高温度的时间段大体上小于10分钟。

3. 如权利要求2所述的方法，其中，该时间段小于大约5分钟。

4. 如权利要求2所述的方法，其中，该时间段小于大约2分钟。

5. 如权利要求1至4中任何一项所述的方法，其中，钛粉生坯扁平材料是生坯带材，该生坯带材在实施步骤(b)热轧的轧辊的牵引下移动通过各相继工位。

6. 如权利要求5所述的方法，其中，在步骤(a)之前，该方法还包括形成生坯带材的步骤，这是通过把钛粉直接粉末轧制以把钛粉固结成自支撑生坯带材来完成的。

7. 如权利要求6所述的方法，其中，该生坯带材的厚度为5mm至20mm。

8. 如权利要求6或7所述的方法，其中，所制造的生坯带材直接被传送到步骤(a)的预热工位。

9. 如权利要求1至4中任何一项所述的方法，其中，钛粉生坯扁平材料包括多个由钛粉压制的生坯板材，用第一传送带将各相继的生

坯板材传送通过预热工位并提供给实施步骤 (b) 热轧的轧辊; 并且, 在第二传送带上把步骤 (b) 制造的热轧后的板材传送通过冷却工位。

10. 如权利要求 9 所述的方法, 其中, 生坯板材的厚度为 5mm 至 10mm。

11. 如权利要求 5 至 10 中任何一项所述的方法, 其中, 在形成钛粉生坯扁平材料前, 对钛粉预热以提高粉末的流动性。

12. 如权利要求 11 所述的方法, 其中, 对钛粉预热是将粉末加热到大约 40°C 至大约 80°C 的温度, 持续时间段足以大体上去除所有水分。

13. 如权利要求 1 至 12 中任何一项所述的方法, 其中, 预热工位、热轧工位和冷轧工位在单个机架内隔开。

14. 如权利要求 13 所述的方法, 其中, 将保护气体例如氩气供应到机架中, 以在机架中保持稍微过压。

15. 如权利要求 13 所述的方法, 其中, 供给保护气体, 以在预热工位和热轧工位中产生相对于钛粉生坯扁平材料前进方向而言的逆流气流, 并在冷却工位中产生相对于钛粉生坯扁平材料前进方向而言的顺流气流。

16. 如权利要求 1 至 15 中任何一项所述的方法, 其中, 在步骤 (a) 中把钛粉生坯扁平材料预热到一定的温度, 以使钛粉生坯扁平材料能在大约 750°C 至大约 1350°C 的温度到达在步骤 (b) 中用于热轧的轧辊。

17. 如权利要求 16 所述的方法, 其中, 在接近或超过  $\alpha$  至  $\beta$  转变温度的温度对钛粉生坯扁平材料进行热轧。

18. 如权利要求 16 所述的方法, 其中, 在大约 800°C 至 1000°C 的温度对钛粉生坯扁平材料进行热轧。

19. 如权利要求 1 至 18 中任何一项所述的方法, 其中, 钛粉生坯扁平材料的密度为理论值的大约 65% 至 85%。

20. 如权利要求 19 所述的方法, 其中, 在步骤 (b) 开始前, 由步骤 (a) 的预热所导致的任何进一步的致密化程度大体上小于 10%。

21. 如权利要求 20 所述的方法, 其中, 所述进一步的致密化程度

为大约 2%至小于大约 7%。

22. 如权利要求 20 或 21 所述的方法，其中，步骤 (b) 制造的热轧后的带材的密度为理论值的至少大约 98%。

23. 如权利要求 20 或 21 所述的方法，其中，步骤 (b) 制造的热轧后的带材的密度为理论值的至少大约 99%。

24. 如权利要求 6 至 8 中任何一项所述的方法，其中，通过沿一对水平相邻的反转的轧辊的辊隙供给钛粉来生产生坯带材；并且，该粉末以流的形式从分配漏斗的伸长缝通过并在相对的一对相对地倾斜的导板之间通过，以便当粉末被牵引通过轧辊的辊隙时在辊隙上方保持有粉末柱，并且，该对导板定位成使得每个导板的下边缘接近粉末柱的一定高度，随着轧辊旋转，粉末柱的粉末在该高度处开始被轧辊咬入，以便通过对粉末柱的粉末进行直接粉末轧制而形成生坯带材。

25. 一种用于对钛粉进行直接粉末轧制以制造自支撑生坯带材的装置，其中，该装置包括：一对水平相邻的反转的轧辊；安装在轧辊的辊隙上方的分配漏斗，该分配漏斗具有伸长缝，粉末流能通过该伸长缝从粉末漏斗送入轧辊的辊隙；和相对的一对相对地倾斜的导板，出口缝位于该对导板之间；其中，导板定位成在轧辊的辊隙上方保持有粉末柱，每个导板的下边缘接近所述粉末柱的一定高度，在该高度处，轧辊能够开始咬入粉末。

## 钛扁平制品的制造

### 技术领域

本发明涉及钛扁平制品的制造，例如带材或板材，涉及对钛粉生坯扁平材料的致密化。

### 背景技术

目前制造带材的轧辊压实法应用于各种金属及其合金的粉末。这些金属包括钢、不锈钢、硅钢、钴钢、铜、镍、铬、铝和钛。目前的轧辊压实法涉及到利用标准的轧机来压实金属粉末以产生“生坯”带材，该金属粉末可以是元素粉末、混合元素（BE）粉末或预合金（PA）粉末。通过分批或连续的操作，生坯带材进行进一步的烧结和再轧制，以制造出具有定制孔隙度的扁平带材制品或完全致密的片材。

与常规的用于片材制造的铸锭/锻造加工路线相比，直接粉末轧制技术具有许多的益处。这些益处包括：

（a）通过使加工步骤的数量最少，降低了运行成本以及固定资本设备的需要；

（b）能够以最小的偏析风险和较高的产量生产高纯度的片材；

（c）有助于生产细晶粒、高强度的带材，轧制取向对该带材机械特性和晶粒结构的影响较小；以及

（d）有助于生产那些难以用常规方式生产的特种材料，例如双金属的、多孔的、复合轴承的、功能梯度的和/或包覆的带材，以及由不容易进行热加工和/或冷加工的那些合金构成的带材。

有三种已被最广泛使用的粉末加工路线。它们的不同之处在于生坯带材的制备。在第一种路线中，首先将粉末与粘合剂混合，然后再对粉末/粘合剂混合物进行轧辊压实。在第二和第三种路线中，分别在室温或升高温度下对没有粘合剂的干粉末进行轧辊压实。对于这三种

路线的每一种来说，随后对生坯带材进行一段延长时间的烧结，使其达到高密度，然后进行热轧和/或冷轧。在热轧生坯带材之后，可对得到的致密化带材在退火前冷轧，或在冷轧之前退火。在对致密化带材初次冷轧后，可以对得到的冷轧带材在退火前进行进一步的烧结和冷轧。

正如在第一种路线中那样，粘合剂的使用不是期望的，因为它导致最终制品的金属带材包含有损害物理特性的夹杂物。因此，第二和第三种路线对于各种金属粉末带材的生产是优选的，包括钛和钛合金带材。Imperial Clevite Inc 的英国专利说明书 GB2107738A 和 GB2112021A、Samal 的美国专利 US4594217、Eylon 等的美国专利 US4917858 以及 Moxson 等的美国专利公开 US2006/0147333A1 公开了这些路线的步骤。

GB 2107738A 的方法涉及：使富集金属合金与填充金属的粉末混合物通过粉末轧机，以制造出密度为理论值的至少 80% 的致密化材料，然后烧结该致密化材料以使颗粒间结合和扩散，从而制出均质的材料。填充金属可以是钛或钛合金，而富集金属合金可以包含铝、锌、镁和铜。GB 2112021A 的方法与 GB 2107738A 在原理上的不同之处在于：初始形成的致密化材料的密度可低达理论密度的 50%，然后在烧结前冷轧。

美国专利 US4594217 涉及对弥散强化的铜、铁、镍或银进行直接粉末轧制，该专利的方法与钛的相关之处仅在于：氧化钛是可用于实现弥散强化的各难熔氧化物之一。粉末轧制用于生产生坯带材，其密度是理论值的 90% 至 95%，并且在惰性气氛中烧结该生坯带材一段时间，以使颗粒粘结并形成致密体，然后对该致密体进行至少一个循环的冷轧和再烧结。

美国专利 US4917858 专门用于生产  $Ti_3Al$  或  $TiAl$  的铝化钛箔。可包含有微量合金化添加剂的混合元素粉末被轧制形成生坯箔，之后对该箔烧结，例如烧结到密度为理论密度的 88% 至 98%，然后进行合适形式的热压，例如真空热压、热等静压、热轧或热模锻。

美国专利公开 US2006/0147333 涉及一种制造钛片材和其他扁平制品的方法。其中，通过使粉末通过第一组尺寸不同的轧辊，然后通过第二组较大的轧辊来制造生坯带材。从第一组轧辊出来的带材用于实现密度为理论密度的 40 至 80%，并且，由于那组尺寸不同的轧辊，带材被弯曲而传到第二组轧辊。两组中的一组轧辊相对彼此旋转，以通过剪切变形实现致密化。从第二组轧辊出来的带材进行多级再次冷轧，据说获得大约 100% 的理论密度，之后在真空或保护气氛下烧结带材。所用的粉末混合物是 CP 钛（工业纯钛）基粉末与合金化粉末的混合物，该合金化粉末的粒度比钛基粉末小至少十倍，以制造例如完全致密的 Ti-6Al-4V 合金。

尽管可使用例如以上详述的方法来制造钛带材，但仍存在有同样适用于由铸锭/锻造加工路线来制造钛带的问题。该问题起因于制造钛金属（无论是粉末还是铸锭）在生产片材的总成本中所占的成本组成。相对于其他金属带材的制造来说，钛带材的金属制造成本组成非常高。因此，在开发出一种成本效率更高的方法来制造钛金属之前，有必要在所有制造阶段寻求能降低成本的效率，从而增大钛带材相对于其他金属带材的竞争力。

本发明寻求提供一种制造钛扁平制品的替代方法，例如带材或板材，该方法涉及到钛粉生坯扁平材料的致密化，并且该方法至少在某些形式上能够使生产的成本效率更高。

## 发明内容

本发明提供了一种制造钛扁平制品的方法。在制造带材的情况下，扁平制品可以足够薄以包括“箔”，即在上述美国专利 US4917858 中使用的术语。然而，在 US4917858 中，所称的箔厚度为 0.1 至 10mm，而更加一般地，箔通常厚度小于 0.1mm，例如在铝箔时厚度为大约 0.02mm。利用本发明制造的带材的最终厚度可在 0.1 至 10mm 的范围内，但是该厚度通常小于大约 5mm，优选地小于 2mm，并且可以变化以适合带材的特殊应用。在扁平制品的形式为板的情况下，厚度范

围可为大约 3mm 到大约 10mm。

本发明提供一种制造钛扁平制品的方法，包括以下步骤：

(a) 使钛粉生坯扁平材料通过预热工位，在预热工位中，在保护气氛下将扁平材料加热到至少足以热轧的温度，

(b) 使预热后的扁平材料仍然在保护气氛下从预热工位传送到轧制工位并通过轧制工位，并热轧预热后的制品，以制造出具有所需热致密化程度的热轧后的扁平制品；以及

(c) 使该热轧后的扁平制品仍然在保护气氛下从热轧工位传送到冷却工位并通过冷却工位，并且将热轧后的扁平制品冷却到其能离开保护气氛的温度；

其中，步骤 (b) 中的热轧是该方法中涉及的主要热致密化机制。

在本发明的方法中，钛扁平材料由含钛的粉末制成。该粉末可包括单一的、大体上均质的材料，例如 CP 钛或合适的钛合金。可替代地，该粉末可以是至少两种不同材料的混合物。在后一种情况下，这些材料可以在物理形式上不同，例如在双峰粒度混合物的情况下。可替代或附加地，这些材料可以在成分上不同，例如是 CP 钛或钛合金粉末与合金化元素粉末或另一种钛合金粉末的混合物，或者例如是金属间化合物。本发明特别适用于具有在锻造条件下易于偏析的成分的粉末，因为本发明提供了一种制造大体上没有偏析的完全致密化的制品的工艺路线。

本发明的方法明显地区别于以前通过烧结来将钛粉生坯扁平材料热致密化的提议。在那些以前的提议中，烧结通常是作为分批操作来进行的，其中，使大量的材料如盘卷的带材或堆叠的板材经过一段时间例如大约两小时缓慢地升高到烧结温度，然后在保护气氛下保温一段时间，通常超过 1.5 至 2 小时，以制出烧结制品。然后，将该烧结制品冷却到室温并储存，直到其然后被冷轧和/或热轧。涉及到的主要热致密化机制是作为烧结步骤特征的固-固扩散，随后的冷轧和/或热轧基本上是定尺操作。在长时间加热到烧结温度、在该温度保温以便烧结以及如果采用的随后预热和热轧的过程中，该大量钛材料需要在



真空或保护气氛下保持。在封闭式分批系统中，可以对在升高温度下的大量钛材料使用真空或不活泼的保护气氛，而不会过多地总体暴露于残余的氧和氮。

为了转变成连续处理的布置，保护气氛需要处于正压，同时供给新鲜气体以保持该保护气氛。该大量的钛材料需要在升高温度下保持长时间以获得合适的密度，在这种同样也很长的时间过程中，材料会过多地总体暴露于新鲜气体中的残余氧和氮，因此存在材料被污染的风险。

在本发明的方法中，总的处理时间非常短。因此，尽管需要使用正压保护气氛，但还是大大减小了暴露于用于保持保护气氛的新鲜气体中的杂质的风险。此外，由于处理时间非常短，扁平钛制品的生产率相对较高，而制品库存保持较低，从而大大减小了制造成本。此外，相对于锻造制品而言，由于本发明所需的加热时间短，使得成本大大减少。

本发明中预热、热轧和冷却这些相继的步骤优选地在连续的而不是分批式的基础上实施。通过连续的操作，不管是最初的生坯扁平材料还是然后变成的热轧扁平制品都能够基本上以适合于热轧的速度持续地通过各相继工位。然而，在预热和热轧连续地跟在直接粉末轧制生坯带材之后进行的情况下，初始的生坯带材压实率通常将决定生产率。处于升高温度下的时间可以根据生坯扁平材料的厚度和密度变化，但是尽管这样，处于升高温度下的时间通常大体上小于大约 10 分钟，优选地小于大约 5 分钟。对于包括相对较薄的钛粉生坯带材的生坯材料来说，处于升高温度下的时间可以小于 2 分钟。这些时间相对于在以前的烧结提议中的暴露时间来说非常短。

实施热轧以实现相当大的减薄，从而实现相当大的致密化。最优选地，减薄为至少 50%，例如至少 55%。此外，特别地对于较薄的生坯扁平材料来说，优选在单道次中实现减薄。然而，在可替代的布置中，步骤 (b) 的热轧工位是第一热轧工位，其后为至少第二热轧工位，此时实现的至少 50% 的总减薄是在各相继热轧工位中实现的减薄

的总和。因此，例如可以在第一热轧工位实现 30%至 40%的减薄，而在第二热轧工位中实现达到所需热致密化程度的减薄余量。

至少对于较厚的生坯扁平材料来说，从第一热轧工位出来的热轧扁平制品可以仍然处于足以在第二热轧工位热轧所需的温度。然而，在第一热轧工位热轧和在传送到第二热轧工位的过程中会从制品损失相当多的热能。因此，优选的是，有必要在第一和第二热轧工位之间提供再加热工位，从第一热轧工位出来的制品通过该再加热工位，以便被再加热到至少足以在第二热轧工位进行热轧所需的温度。

正如在上面详述的步骤 (a) 和 (b) 中，仍然在保护气氛下，在再加热工位对制品再加热和在第二热轧工位对制品再轧制。

随后可以对从步骤 (c) 出来的冷却的热轧制品进行进一步的处理。可以对该冷却的热轧制品进行冷轧、进一步热轧和/或在步骤 (c) 之后或者在冷轧和/或进一步热轧之前或之后进行退火。

在生坯材料是钛粉生坯带材的情况下，通过各连续工位的运动优选的是由实施热轧步骤的轧辊对其进行牵引而实现。在生坯材料是生坯板材的情况下，可利用传送带、传送辊或其他合适的传送装置将各相继的板材传送通过预热工位并提供给热轧辊，而相似的传送装置可将热轧后的制品从热轧辊传送通过冷却工位。

本发明的方法可包括制备生坯扁平材料。该制备可以是通过钛粉进行直接粉末轧制，以便固结粉末并形成包括自支撑带材的扁平材料。可替代地，特别是在扁平材料相对较厚例如为 5mm 至 10mm 的情况下，该扁平材料可以是自支撑板的形式，该自支撑板是通过压制来固结钛粉而制得的。在每一种情况下，可以使用室温下的钛粉来制造扁平材料。然而，为了改进粉末的流动性，可以首先对粉末进行调节以去除水分，例如通过加热到大约 40°C 至 80°C 的温度。在如此调节粉末的情况下，可以在冷却到室温前对粉末进行轧制或压制以形成生坯扁平材料。

生坯扁平材料可以在整个连续的过程中被制出并连续地传送到预热工位。这在生坯扁平材料包括自支撑带材的情况下是优选的。所制

造的带材可直接传送到预热工位，而无需在进一步的处理需要盘卷之前进行盘卷；从而最大化地减少了带材的搬运以及带材被损坏的风险，例如由于破裂。然而，无论包括带材还是板材，生坯扁平材料都可在分批操作中制造并在需要进一步处理之前存储或保持。

本发明的预热、热轧和冷却这些相继步骤优选地在处于单个机架内隔开的各相继工位上实施。然后，通过向机架供给保护气体以使机架内保持稍微过压，这样来给每个工位提供所需的保护气氛。优选地将保护气体例如氩气在两个或更多个位置供给到机架，以便能相对于穿过机架的前进方向而言产生通过预热工位的逆流保护气流和通过冷却工位的顺流保护气流。

在本发明的方法中，钛粉生坯扁平材料最优选的是在预热步骤以及在各相继热轧工位之间的任何再加热步骤中通过快速加热被升温。这样就能够使扁平材料在升高温度下所处的时间最短，从而使保护气体的消耗率以及钛与任何残余氧或氮进行反应的风险最小。预热和再加热可以达到一温度，以使得扁平材料能到达轧辊以大约 750°C 至 1350°C 范围内的合适温度进行热轧。扁平材料优选地在热轧时接近或超过  $\beta$  转变温度（100% $\beta$  含量的最低温度），最优选的是大约 800°C 至 1000°C。该预热优选地使用感应炉，因为这样有助于快速预热，而出于同样的原因再加热也优选使用感应炉。

预热后的扁平材料最优选地相对直接地从预热工位传送到热轧工位。这样可使扁平材料暴露在升高温度下的时间最短。这样也使预热后的扁平材料的温度可能降低到不适宜热轧的温度所经历的时间最短。相反地，这样可使预热工位和热轧工位之间需要进行供热以维持扁平材料温度所需的时间最短。对于使再加热后的制品传送到第二热轧工位也是同样的考虑。

对钛粉生坯扁平材料预热能够导致由固体扩散而实现扁平材料的有限致密化。然而，正如所指出的，扁平材料在足以实现致密化的升高温度下所处的时间非常短，例如大体上小于 10 分钟，例如小于 5 分钟。因此，在热轧前致密化的机会极小。对于再加热以及进一步的

热轧来说也基本上是一样的情况。

钛粉生坯扁平材料的密度可为完全致密化材料密度理论值的大约65%至大约85%，优选地为大约75%至大约85%。开始热轧步骤前，在预热步骤中获得的进一步致密化程度通常大体上小于10%，优选地是大约2%至小于大约7%。该进一步致密化的有限程度是由于以下原因而导致的：快速预热到热轧温度，并且一旦达到该温度就前进到热轧工位并在达到预热温度后不久就进行热轧。材料的前进速度和/或预热工位和热轧工位之间的间隔最优选的是要使得预热后立即进行热轧，即使有实际延迟的话也是极短。

对钛粉生坯扁平材料的厚度、密度和均匀性进行控制很重要。这有助于获得热轧所需的密度水平和厚度。在扁平材料是直接粉末轧制得到的带材的情况下，对生坯带材的上述参数的控制在很大程度上是通过把含钛粉末向粉末轧制固结步骤中所用的轧机系统的轧辊喂送进行控制来实现的。

在本发明中，固结步骤中使用的轧机系统最优选地是具有单一的一对水平相邻的轧辊。该对轧辊优选地具有大体上相同的直径。

尽管本发明的预热和热轧是连续的，但是包括生坯板材或生坯带材制造在内的全过程可以分批地或连续地进行操作。对于分批式操作，可以在对生坯板材或生坯带材进行预热和热轧前将其存储。在生坯带材的情况下，可以在将生坯带材切割成所需长度后进行存储。对于连续式操作，将生坯板材或生坯带材传送到预热工位，然后传送到热轧工位和冷却工位。连续式操作当然需要与压制板材或直接粉末压实分别所用的压机或辊轧机的生产率匹配以及与热轧的生产率匹配。然而，这种匹配适用于许多过程，例如使用多辊机座操作的那些过程；对于本发明，使用快速预热步骤促进了这种匹配。

#### 附图说明

为了使本发明更容易被理解，现在参考附图，其中：

图1是根据本发明在制造钛带材中使用的装置的一个实施例的示

意图;

图 2 是用于制造钛生坯带材的粉末分配和轧机系统的优选形式的示意性透视图;

图 3 是沿图 2 中的线 III-III 截开的剖视图;

图 4 以立面形式表示图 3 的剖视图;

图 5 以放大的比例示出了图 4 中示出剖面的细节;

图 6 示意性地示出了与图 2 至图 4 的分配和轧机系统一起使用的粉末供给系统; 以及

图 7 示出了在制备生坯带材中使用的异型轧辊的优选形式。

### 具体实施方式

参考图 1, 其示出了装置 10, 用于由含钛粉末来生产成品钛带材。装置 10 具有生坯带材的生产工位 12, 其中, 在一对水平定位的轧辊 16 之间对钛粉 14 进行直接粉末轧制压实, 以生产自支撑的生坯带材 18。对于工位 10, 粉末 14 示出为以高度程式化的方式供给到轧辊 16, 然而也需要粉末计量分配系统, 例如如图 2 至图 4 所示的。

生坯带材 18 从轧辊 16 向下输出, 在示出的布置中是竖直向下地输出。这是因为轧辊 16 具有相同的直径, 并且轧辊 16 的轴线处于共同的水平面上。对于生坯带材 18 来说, 有必要以可使生坯带材 18 损坏风险最小的足够大的曲率半径进行弧形的牵引, 直到生坯带材能够水平地延伸。如果需要, 可以提供一弧形引导装置, 生坯带材 18 可沿该引导装置进行牵引, 从而进一步减小损坏生坯带材 18 的风险。

当生坯带材 18 水平延伸时, 生坯带材 18 能够穿过固结单元 20 进行进一步处理。固结单元 20 包括预热炉 22 和热轧机 24。固结单元 20 之后是与其连通的冷却单元 26。预热炉 22 是感应加热装置, 生坯带材 18 穿过该感应加热装置并主要通过辐射被预热到热轧温度。加热可以是间接的, 因为该加热是由石墨感受器 28 的水冷铜线圈提供, 生坯带材穿过该水冷铜线圈。感应加热的益处是, 能够快速地加热生坯带材 18, 并精确地加热到所需的热轧温度。

预热后的带材 30 从预热炉 22 前进到热轧机 24, 在此通过竖直相邻的轧辊 32 对预热后的带材 30 进行热轧, 从而实现至少 50% 的减薄, 例如至少 55%。热轧后的带材 34 离开热轧机 24 并穿过邻近热轧机 24 布置的冷却单元 26。在冷却单元 26 中, 被预热且热轧后的带材 34 能够大体上被冷却, 使得离开冷却单元 26 的冷却后的带材 36 能够在几乎没有大气污染的风险的情况下暴露在环境大气中。为了提供这种冷却, 冷却单元 26 具有双壁结构, 并具有入口连接装置 38 和出口连接装置 39, 冷却流体例如水优选地是冷水能通过入口连接装置 38 和出口连接装置 39 进行循环。

如示出的, 冷却后的带材 36 从冷却单元 26 前进到盘卷工位 40。在盘卷工位 40, 冷却后的带材 36 被卷绕形成盘卷 42, 从而有必要在大直径的芯上盘绕。在冷却单元 26 中实现的冷却可以是使得带材 36 在低于  $100^{\circ}\text{C}$  下输出。然而, 更高的出口温度是可取的, 例如从  $150^{\circ}\text{C}$  至  $400^{\circ}\text{C}$ 。优选地, 在为了最终定尺、表面精加工或者对退火后的带材硬化而进行的冷轧前对盘卷 42 的带材进行表面处理和退火。

作为把冷却后的带材 36 传到盘卷工位 40 的一种替代方案, 可以对冷却后的带材 36 切割成段和进行退火。

优选地, 供给到生产工位 12 的钛粉的最大粒度不大于大约 250 微米。最优选地, 该最大粒度不大于大约 180 微米。优选地, 粉末具有角状颗粒, 例如使用由海绵钛制得的粉末。在供给到生产工位 12 之前, 优选地对粉末进行预热以改进其流动性。用于该目的的一种合适的预处理涉及到将粉末预热到低的温度, 优选地是从大约  $40^{\circ}\text{C}$  至  $80^{\circ}\text{C}$  的温度。

供给到生产工位 12 的钛粉可以处于室温, 或者由于预处理的缘故处于低温。无论是哪种情况, 都在生产工位 12 轧制粉末以提供具有所需厚度的自支撑生坯带材 18。根据成品的热轧钛带材所需的厚度, 生坯带材 18 的厚度可以是大约 10mm 至大约 5mm。优选地, 生坯带材的密度是理论值的大约 65% 至 85%, 例如是理论值的大约 75% 至 85%。

在将生坯带材 18 从竖直平面牵引到水平平面时，以使生坯带材 18 破裂风险最小的曲率半径来弧形地牵引生坯带材。然而，需要限制生坯带材 18 的弧度，以使得生坯带材 18 不会在其重力的作用下破裂或折断。无论是哪种情况，生坯带材 18 的厚度和密度都是影响选择合适曲率半径的因素。该曲率半径例如可高达 1 至 2 米，从而使得生产工位 12 和预热工位 22 之间的生坯带材 18 长度为至少大约 2 至 4 米。

在固结单元 20 和冷却单元 26 的整个过程中，在预热炉 22 的入口和冷却单元 26 的出口之间，使保护气氛稍微保持过压。也就是说，固结单元 20 和冷却单元 26 都处于共同的保护气氛下。因此，固结单元 20 具有入口连接装置 46，固结单元 20 的内部能通过该入口连接装置 46 从合适的气源（未示出）接收保护气体。具体布置方式是：相对于带材移动穿过固结单元 20 的方向而言，在预热炉 22 和热轧机 24 中提供逆流的保护气体流以从固结单元 20 的入口流出，而顺流的保护气体流通过冷却单元 26 从出口端流出。

感应加热装置 22 用于加热生坯带材 18，以确保在热轧机 24 中以合适的温度进行热轧。该温度可以低达大约  $750^{\circ}\text{C}$ ，但是优选地是接近或超过  $\beta$  转变温度，以便能接近完全  $\beta$  相的区域或在完全  $\beta$  相的区域实施热轧，并且该温度可以高达  $1350^{\circ}\text{C}$ 。更优选的温度范围是大约  $800^{\circ}\text{C}$  至大约  $1300^{\circ}\text{C}$ ，例如  $900^{\circ}\text{C}$  至  $1000^{\circ}\text{C}$ 。在这样高的温度下，钛的反应性非常强，因此非常期望的是使带材处于升高温度下的时间最短，以最大程度地减少带材与残留在固结单元 20 中的残余氧的接触，或减少带材与在用于给固结单元 20 中提供保护气氛的气体中引入的达到污染水平的任何残留氧的接触。

为此，期望的是加热装置 22 操作以使带材快速升高到所需的温度。此外，期望的是加热装置 22 和热轧机 24 之间的间隔较短，使得带材在预热炉 22 中加热、从预热炉 22 前进到热轧机 24 以及在热轧机 24 中进行热轧的停留时间保持最短。在商业工厂中利用本发明时，该停留时间可以小于 10 分钟，但是优选的是小于 5 分钟，例如小于 3 分钟。这样，该加热速率可以与使热带材最低程度地暴露于污染物以

及与实际热轧速度相兼容。此外，能够使固结单元 20 的体积保持相对较小，从而使所需的保护气体的量最小并且还使与保护气体一起引入的钛污染气体的比率最小。预热炉 22 和热轧机 24 之间的短间隔减小了带材温度过度下降（例如下降到不适合于热轧的水平）的可能性，或者减少了在这些工位之间进行辅助加热以防止这种温度下降的需要。

在预热炉 22 中进行预热以及前进到热轧机 24 的轧辊 32 的过程中，带材可通过颗粒间熔合来加强。然而，优选地是，预热几乎不增大片材的密度，任何的增大通常小于大约 7%，例如从 2% 至 5%。然而，在热轧机 24，预热后的带材 30 在热致密化过程中进行限定百分比的减薄，该热致密化例如实现密度为理论值的至少约 98%，优选地大于理论值的 99%。这样，热轧提供了主要的热致密化机制，即，通过热轧实现了在本发明的步骤 (a) 和 (b) 中热致密化的主要部分，也就是超过 50%。优选地，通过热轧实现了超过 60% 例如不低于 65% 的热致密化。因此，为了能进行热轧而在预热过程中发生的致密化仅占热致密化的一小部分。由热轧导致的减薄可以从生坯带材 18 的 5 至 20mm 的厚度到热轧后带材 34 的 2 至 10mm 的厚度。

在经过热轧机 24 后，热轧后的带材 34 进入冷却单元 26。在热轧机 24 中，虽然带材仍处于容易被污染的温度下，但是由于轧辊 32 从带材上吸收热能而使带材温度大大降低。通过保持在冷却单元 26 中的保护气氛减小了污染的风险。然而，通过用经冷却单元 26 的双壁结构循环的冷却剂流体（优选是冷水）将热轧后的带材快速冷却到低于大约 400°C，进一步减小了污染的风险。在热轧的实际速度下，在长度相对较短例如小于 2m 的冷却单元 26 中可实现低于 400°C 的冷却后的带材 36。这种布置容易适于使冷却后的带材 36 以实际热轧速度在低于大约 100°C 的温度下离开机架 20。

如所指出的，通过经入口连接装置 46 供给保护气体（例如氩），在单元 20 和 26 中保持稍微过压的保护气氛。尽管单元 20 是加热单元以及单元 26 是冷却单元，但这两个单元一起作为整体式机架，其中，



能够在从单元 20 入口到单元 26 出口的相对较短的距离上实施本发明方法的步骤 (a) 至 (c)。有助于此的一个因素是对热轧后带材的有效冷却能够在单元 26 中实现。这也消除了淬火的需要，特别是因为实际上淬火很可能必然要使带材暴露在大气中。此外，在水中淬火、或其他淬火剂的含氧量和/或含水量可能导致带材表面氧化，并且在水的情况下，会不期望地产生氢气。

如图示出的，冷却后带材 36 从机架 20 一离开就前进到带材盘卷工位 40，在此形成带材盘卷 42。然而，如所指出的，在冷却单元 26 中进行有限的冷却有助于进行盘卷。当盘卷 42 具有所需的重量时，切断带材 36，并且，在从盘卷工位 40 取下盘卷 42 后，重新开始对带材 36 进行盘卷。首先可以对取下的盘卷进行清洁，然后将其传输到退火炉并进行退火一段合适的时间，例如在 CP 钛的情况下，以便在进行冷却前实现等轴的 $\alpha$ 相微结构。在冷却后，优选的是使退火后的带材经受至少一个冷轧阶段，以实现最终的规格、外观和机械特性。预定的冷轧减薄可以是减薄到 0.1 至 5mm 的厚度，优选地小于 3mm。

如上所述地，如图所示以高度程式化的方式向工位 10 的轧辊 16 供给粉末。图 2 至图 5 示出了优选布置的第一部分，而另一部分在图 6 中示出。图 2 至图 5 示出了用于将粉末分配到轧辊 16 的粉末分配装置 50。图 6 示出了用于将粉末供给到分配装置 50 的粉末供给装置 52。

粉末分配装置 50 具有一对相对的伸长支撑部件 54，这对支撑部件能安装在支撑结构（未示出）上，以将粉末分配装置 50 定位在轧辊 16 上方（参见图 3 和 4）。每个支撑部件 54 具有固定于其上的角形托架 56，并且支撑部件 54 由固定在托架 56 之间的连接装置 58 保持成间隔开的关系。支撑部件 54 相对于轧辊 16 的轴线成直角地延伸，而连接装置 58 平行于轧辊 16 的轴线，每个轧辊 16 上方有一个连接装置。托架 56 和连接装置 58 界定了一个矩形开口 60，该开口位于轧辊 16 的间隙上方，且粉末能通过该开口进行供给，以便在轧辊 16 之间进行固结。

伸长的粉末分配漏斗 62 的每端有一连接到相应支撑部件 54 上的

带 64, 借此把粉末分配漏斗 62 安装在开口 60 中。该漏斗 62 处于轧辊 16 的间隙正上方, 并且漏斗 62 的纵向延伸平行于轧辊轴线。漏斗 62 具有相对的侧壁 66, 除了下缘 66a 之外, 侧壁 66 相互平行并且竖直地布置在漏斗 62 高度的主要部分上。漏斗 62 还具有端壁 67, 端壁 67 倾斜, 以使得漏斗 62 在其横截面上从上到下减小。漏斗 62 底部具有由侧壁 66 和端壁 67 限定的伸长出口缝 68。正如从图 3 至图 5 中所看到的, 每个侧壁 66 的下缘 66a 向内朝相对的侧壁 66 倾斜。

漏斗 62 的下部布置在一对相对的导板 70 之间, 该导板限定了粉末的引导。导板 70 朝向彼此倾斜并朝向位于导板之间的那部分漏斗 62 倾斜。每个导板 70 的上端具有外翻的凸缘 70a, 导板通过该凸缘而固定在相应的连接装置 58 上。导板 70 的倾角、侧壁 66 的下缘 66a 的倾角、下缘 66a 的宽度以及侧壁 66 和导板 70 的下边缘的定位都是用于实现粉末从漏斗 62 向轧辊 16 的间隙受控流动的参数。

在图 5 的放大细节中, 示出了漏斗 62、导板 70 和轧辊 16 相对于保持在轧辊 16 的间隙 16a 上方的粉末柱 72 的关系。该粉末柱 72 大体上从高度 L 延伸, 在使用轧辊 16 进行直接粉末轧制而产生坯带材的过程中, 通过向漏斗 62 供给粉末而使粉末柱保持在高度 L。由于漏斗侧壁 66 的下缘 66a 的锥度, 粉末柱 72 收缩, 这有助于挤出粉末颗粒之间夹带的一些空气。在侧壁 66 的下边缘处限定的出口缝 68 下方, 该粉末柱稍微扩张从而接触导板 70, 这与导板 70 的倾角相结合有助于通过每个导板 70 与相邻侧壁 66 之间的微小气隙 74 进一步排出夹带的空气。邻近导板 70 的下边缘, 粉末柱 72 与轧辊 16 的表面接触。这种布置使得所述接触刚刚在高度 P 的上方发生, 在该高度 P, 轧辊 16 开始咬入粉末。也就是说, 在高度 P 的上方, 轧辊 16 仅仅使粉末柱 72 的粉末颗粒更紧密地接触, 大体上没有咬入; 而在高度 P 的下方, 咬入逐渐地增加, 从而开始固结粉末, 该固结在轧辊 16 的间隙 16a 处完成。

当形成适当角度时, 漏斗侧壁 66 的下缘 66a 和导板 70 逐渐地压缩粉末柱 72 的粉末颗粒。此外, 它们减缓粉末朝轧辊 16 的间隙 16a

流动。在该过程中，下缘 66a 和导板 70 能够大体上以与轧辊 16 的表面速度相匹配的流量计量粉末向间隙 16a 的流量。该对轧辊 16 具有相同的直径，并以相同的表面速度被驱动。

在使用直径大约为 150mm 的轧辊的一台试验装置中，高度 P 相当于大约  $15^\circ$  的咬入角  $\theta$  和在间隙 16a 上方大约 20mm 的高度 P。漏斗出口缝 68 的合适宽度大体上与在高度 P 处粉末柱 72 的宽度相同，大约为 8mm。在下缘 66a 上方，漏斗 62 的宽度为大约 13.5mm，同时每个下缘 66a 相对于穿过间隙 16a 的竖直平面以大约  $24^\circ$  的角度倾斜，从而在下缘 66a 之间形成大约  $48^\circ$  的夹角。导板 70 相对于穿过间隙 16a 的竖直平面的角度为大约  $8^\circ$ ，从而在导板 70 之间形成大约  $16^\circ$  的夹角。每个导板 70 的下边缘在高度 P 上方稍微间隔 2 至 3mm，同时在每个下缘 66a 的上边缘处，每个漏斗侧板 64 和相邻的导板 70 之间有大约 1.5mm 的气隙。正如所指出的，轧辊 16 的间隙上方的高度 P 是大约 20mm，同时轧辊间隙上方的高度 L 即粉末柱 72 的总高度是大约 130mm。漏斗 62 和导板由不锈钢制成。

所述的试验装置采用图 6 的粉末供给装置和图 7 示出的轧辊。向该试验装置供给负 100 目的钛粉。粉末以一定的流量供给，大体上保持在轧辊间隙上方的粉末高度 L 为 130mm，并实现了粉末顺畅连续地流到轧辊 16 的间隙。这样制造得到的生坯带材具有 100mm 的宽度，并能够随着轧辊速度的变化在大约 1.5mm ~ 大约 1.0mm 之间改变厚度。生坯带材是自支撑的和可弯曲的，其密度从理论值的大约 65% 到 85% 变化，最通常地是大约 75% 至大约 85%。

该试验装置包括大体上相应于图 1 的单元 20 的固结单元。在下文中，试验装置的固结单元用图 1 中的参考数字来描述。单元 20 具有炉 22，该炉长 1300mm、宽 800mm 和高 1200mm。单元 20 与冷却单元 26 连接，该冷却单元长 1000mm、宽 360mm 和高 130mm。

在单元 20 内，预热炉 22 包括 250kW、25kHz 的感应加热系统。由于该感应系统是基于利用矩形石墨感受器中的水冷铜线圈进行感应加热（生坯带材 18 通过石墨感受器），因此预热炉 22 能主要通过辐

射来加热生坯带材 18。该感受器 28 长 1200mm、宽 450mm 和高 120mm，壁厚为 25mm。在预热炉 22 的运行过程中，通过石墨感受器 28 的铜线圈的水流量保持在大约 32L/m。

热轧机 24 包括一对直径为 150mm 的轧辊 32。预热炉 22 的出口到轧辊 32 的咬入点的距离为大约 150mm。

在单元 20 的运行过程中，通过与预热炉 22 相邻的两个主入口以大约 10sL/min 的平均总流量供给氩气。此外还通过邻近轧辊 32 的三个入口以同样的总流量供给氩气。供给到轧辊 32 和预热炉 22 的氩气在与带材 18 移动方向相反的方向上流过单元 20 时保持稍微正压。

冷却单元 26 是夹套式水冷结构。在热轧后的带材 34 通过单元 26 的过程中，该带材由通过三个沿冷却单元 26 的长度隔开的口垂直于带材 34 的表面供给的氩气保护。供给的氩气的总流量为大约 10sL/min。供给到冷却单元 26 中的一部分氩气流入单元 20，但是大部分沿带材 34 的前进方向流动。

冷却水优选是冷水以大约 220kPa 的压力供给到冷却单元 26。对于厚 1.4mm、宽 100mm 的生坯带材，在大约 800℃（在 1350℃的设定温度下用炉 28 预热后）热轧到大约 1mm 的厚度，该带材能够在机架部 26 中被冷却到大约 90℃的表面温度。在该操作过程中，氩气的供给能够基本上保持机架 20 中的氧含量为零。

该试验装置能够制造具有良好质量和特性的高密度钛带材。该装置能够使带材密度接近理论密度。

图 6 示出了安装在粉末分配装置 50 上方的粉末供给装置 52。该粉末供给装置 52 具有漏斗 76 和伸长的槽状振动给料器 77。示出的粉末供给装置 52 安装在粉末分配装置 50 上方，例如通过固定到与固定粉末分配装置 50 相同的支撑结构（未示出）上。相对于粉末分配装置 50 的漏斗 62 而言，漏斗 76 具有大的容量，并安装在给料器 77 的入口端上方。给料器 77 沿带材从工位 12 向机架 20 前进的路线延伸（在这种情况下，使得粉末在与带材前进相反的方向沿给料器 77 前进）。给料器 77 的出口端布置在粉末分配装置 50 的漏斗 62 正上方。

将粉末供给到漏斗 76, 优选地是在把粉末预热而增强流动性之后, 例如通过将粉末加热到 40°C 至 80°C 的温度, 持续时间足以去除大体上所有的水分。在该漏斗 76 的下端具有可调节的计量出口, 从而能够改变将粉末排放到给料器 77 中的流量。给料器 77 的振动使粉末前进到出口端, 以所需的流量排入漏斗 62。网 78 设在漏斗 76 的顶部上, 用于破碎或保持结块的粉末颗粒。此外, 在给料器 77 中, 设置至少一个闸门 79。闸门 79 的下缘 79a 在给料器 77 的底部上方间隔短的距离, 从而也用于破碎或保持任何结块的粉末颗粒。

粉末供给装置 52 的这种布置以及由其提供的控制使得粉末能被供给到粉末分配装置 50 中。与由粉末分配装置 50 提供的控制相结合, 粉末供给装置 52 有助于粉末以顺畅、连续的流动和以大体上恒定的流量供给到轧辊 16 的间隙。

#### 实例 1

在例证本发明的第一试验中, 将氧含量为 0.32 至 0.35%、名义粒度小于 150 微米的由氢化/脱氢制得的等级为 3 的钛粉直接轧制成生坯片材。最终得到的密度是理论值的 81%, 厚度和宽度分别为 1.2mm 和 100mm。在冷却到室温前, 使生坯片材两次通过环境温度为 1200°C 的腔室, 在该腔室中以 4m/min 的速度进行热轧。在加热、热轧和冷却的整个过程中, 片材由以稍微过压供给的氩气气氛保护。第一道次热轧减薄 35%, 第二道次热轧减薄 15%, 最终达到总百分比为 50% 的减薄。后续热轧片材具有大于理论值的 99.9% 的密度。在 750°C 进行轧后退火 (mill annealing) 30 分钟后, 随后进行机械试验得到 16 至 18% 的伸长率、750MPa 的极限抗拉强度以及 670MPa 的 0.2% 验证 (屈服) 强度。退火后的片材的化学性质符合 ASM 等级 3 的钛片材。

#### 实例 2

在例证本发明的第二试验中, 将使用钠还原法制造的、名义粒度小于 150 微米的钛粉(氧含量为 0.10 至 0.13%, 氯 Cl 为大约 1000ppm) 直接轧制成 1.0mm 厚的生坯片材。最终的密度是理论值的 89%。在稍微过压的氩气气氛保护下, 在生坯片材在该保护气氛中冷却到室温

前，使生坯片材两次通过环境温度为  $1200^{\circ}\text{C}$  的腔室，在该腔室中以  $6\text{m}/\text{min}$  的速度进行热轧。第一道次热轧减薄  $43\%$ ，第二道次热轧减薄  $16\%$ ，从而得到总百分比为  $59\%$  的减薄。后续热轧片材具有大于理论值的  $99.5\%$  的密度。在  $750^{\circ}\text{C}$  进行轧后退火 30 分钟后，随后进行机械试验得到  $16$  至  $18\%$  的伸长率和  $525\text{MPa}$  的极限抗拉强度。

粉末可以是各种含钛粉末中的任意一种。因此，粉末可以是 CP 钛或合适的钛合金。替代地，粉末可以是至少两种不同材料的混合物。在后一种情况下，各材料可以在物理形式和/或成分上不同，例如是 CP 钛粉末或钛合金粉末与合金化元素粉末或另一种钛合金粉末的混合物，或者例如是金属间化合物。如所指出的，粉末的成分可以是在锻造制品中表现出偏析的成分。

图 7 示出了在工位 12 使用的轧辊 16 的优选轮廓形式。如所示出的，轧辊是互补形式。一个轧辊 80 具有较小直径的中部 80a，其将较大直径的两端部 80b 分开，而另一个轧辊 81 具有较大直径的中部 81a，其将较小直径的两端部 81b 分开。在每个轧辊 80 和 81 中，各相继部分分别在倾斜的环形肩 80c 和 81c 处汇合。在各个中部 80a 和 81a 之间实现粉末压实，而在中部的每个端部处相互配合的各环形肩 80c 和 81c 限制了粉末移动越过中部的端部并有助于生坯带材的制造，该生坯带材的宽度大体上相应于中部 80a 和 81a 的长度，并在整个宽度上表现出大体上均匀的致密化。

最后，应该理解，在不脱离本发明的精神或范围的条件下，可以将各种变化、修改和/或增加引入到前面描述的部件结构和布置中。

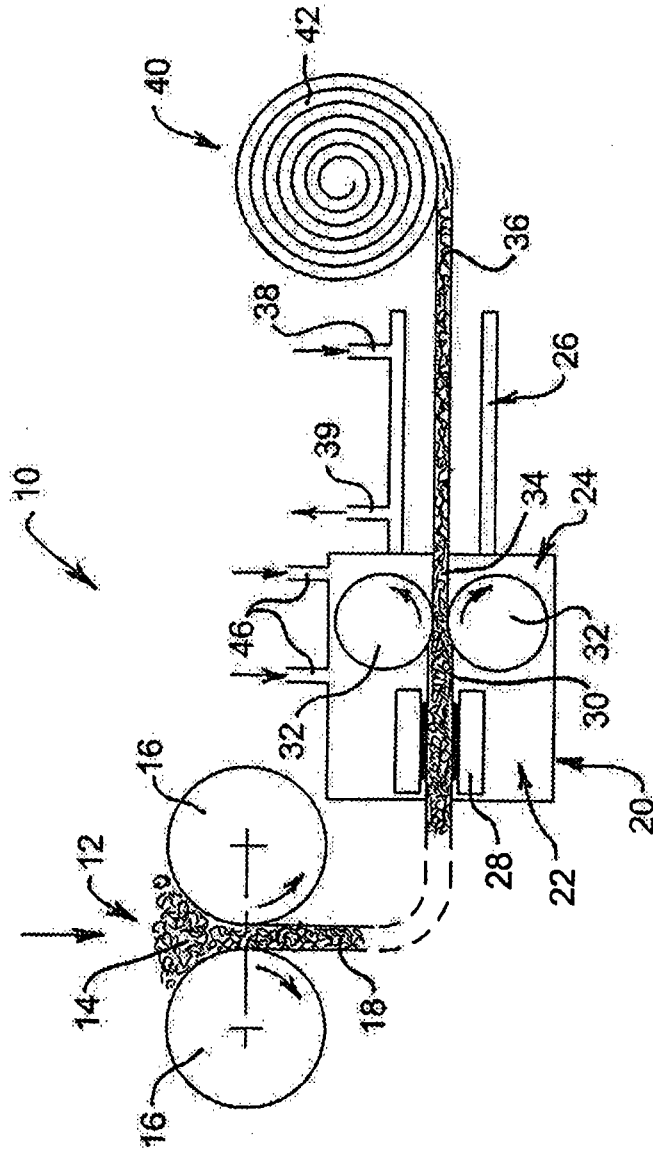


图1

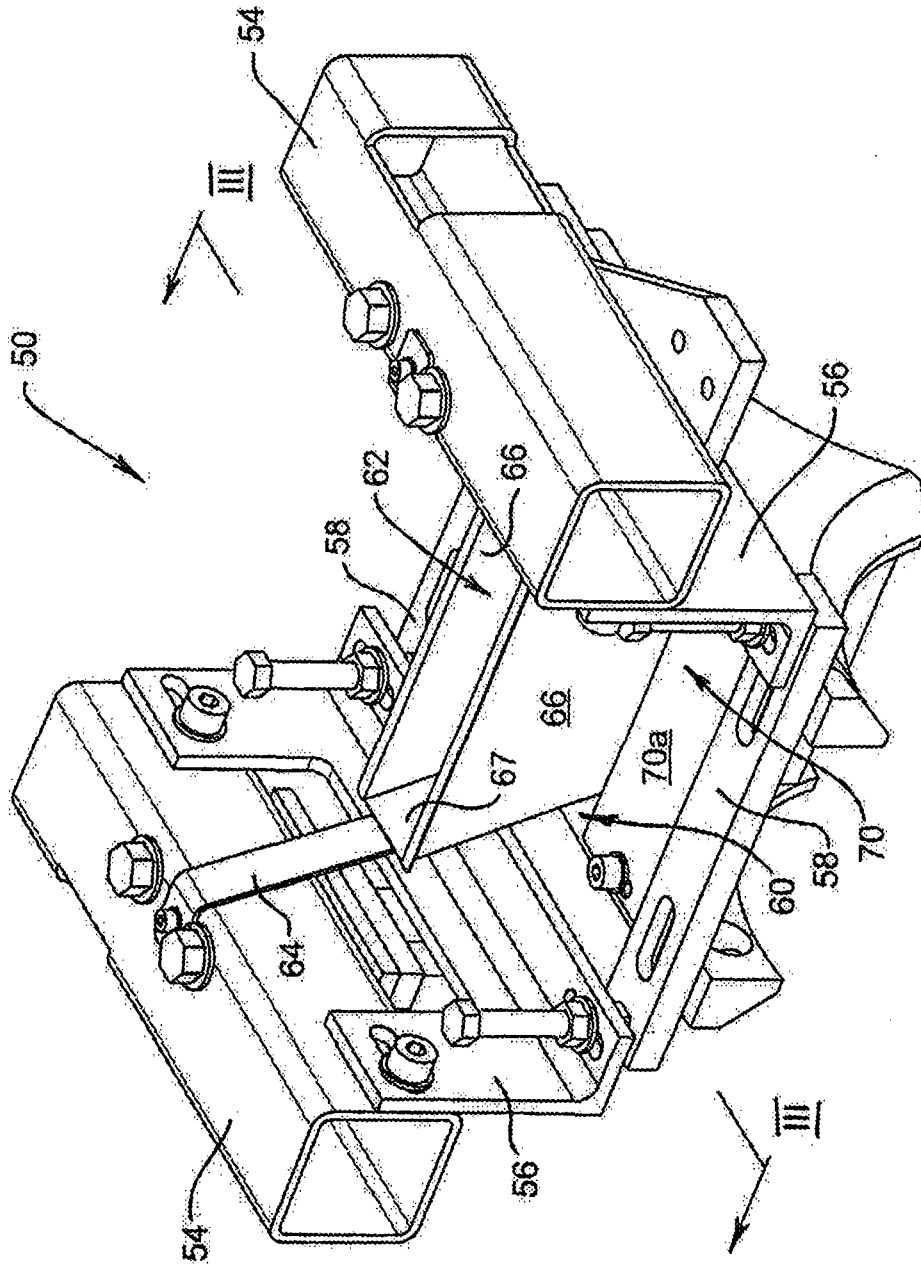


图2



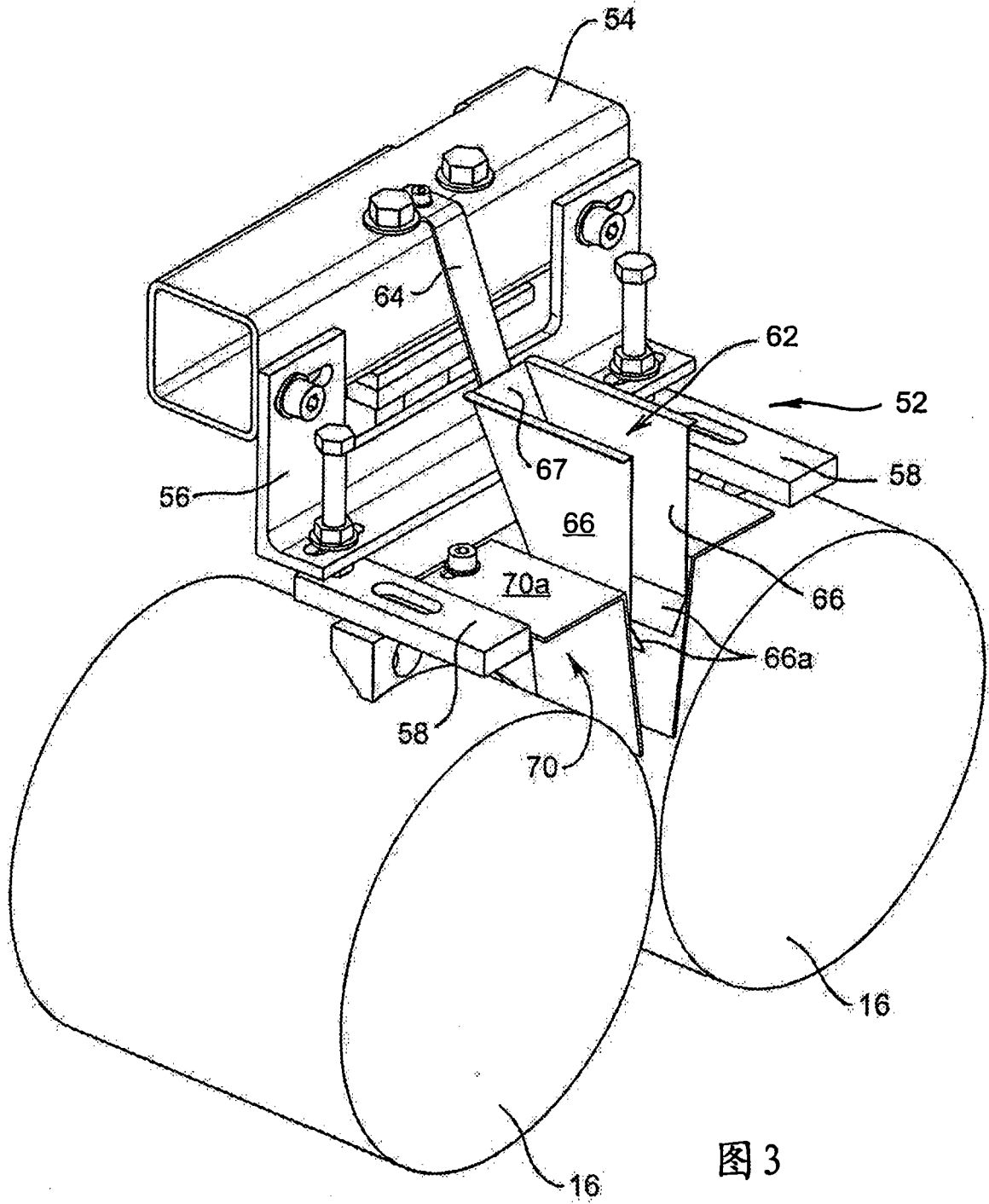


图3

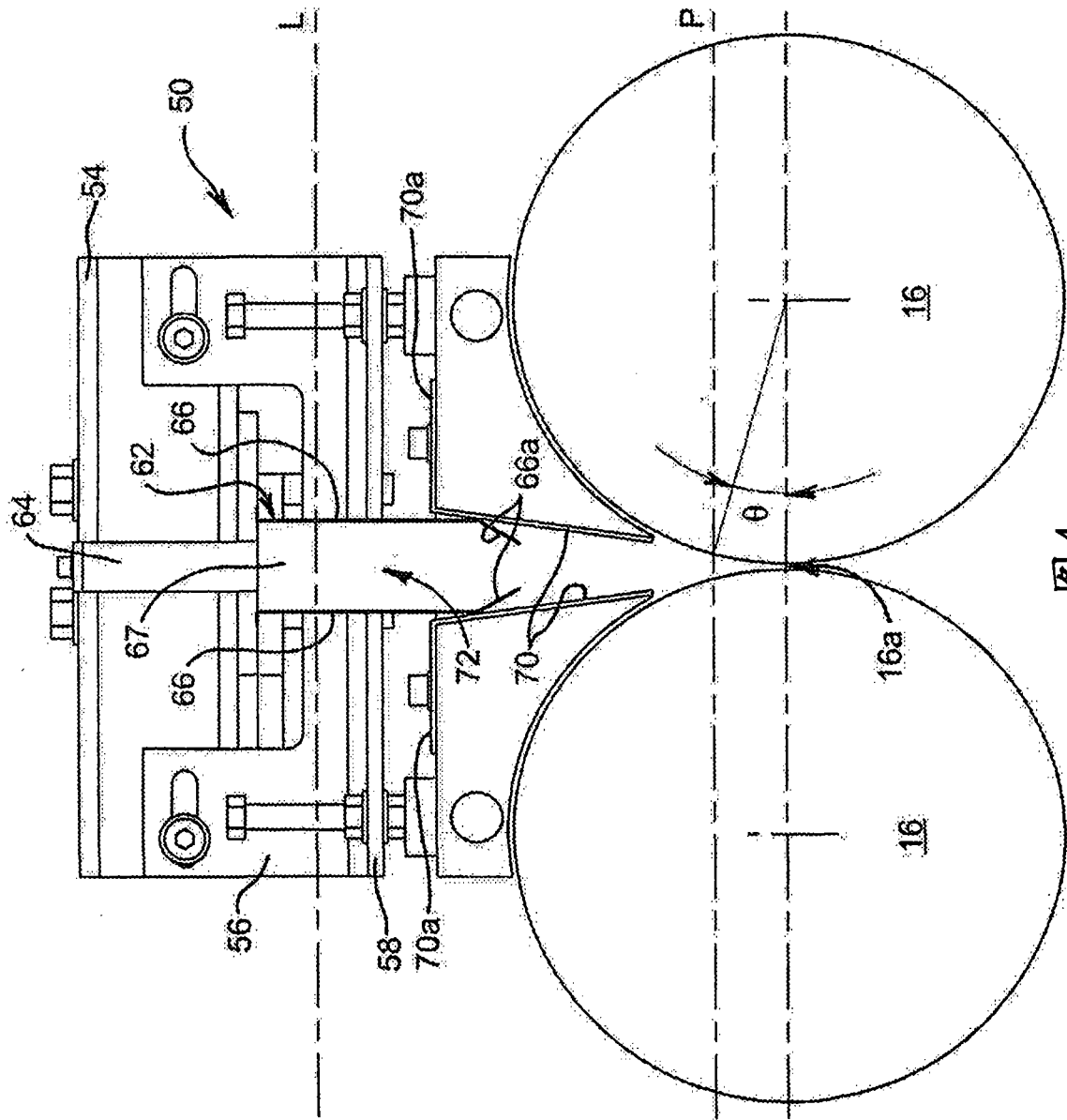


图4

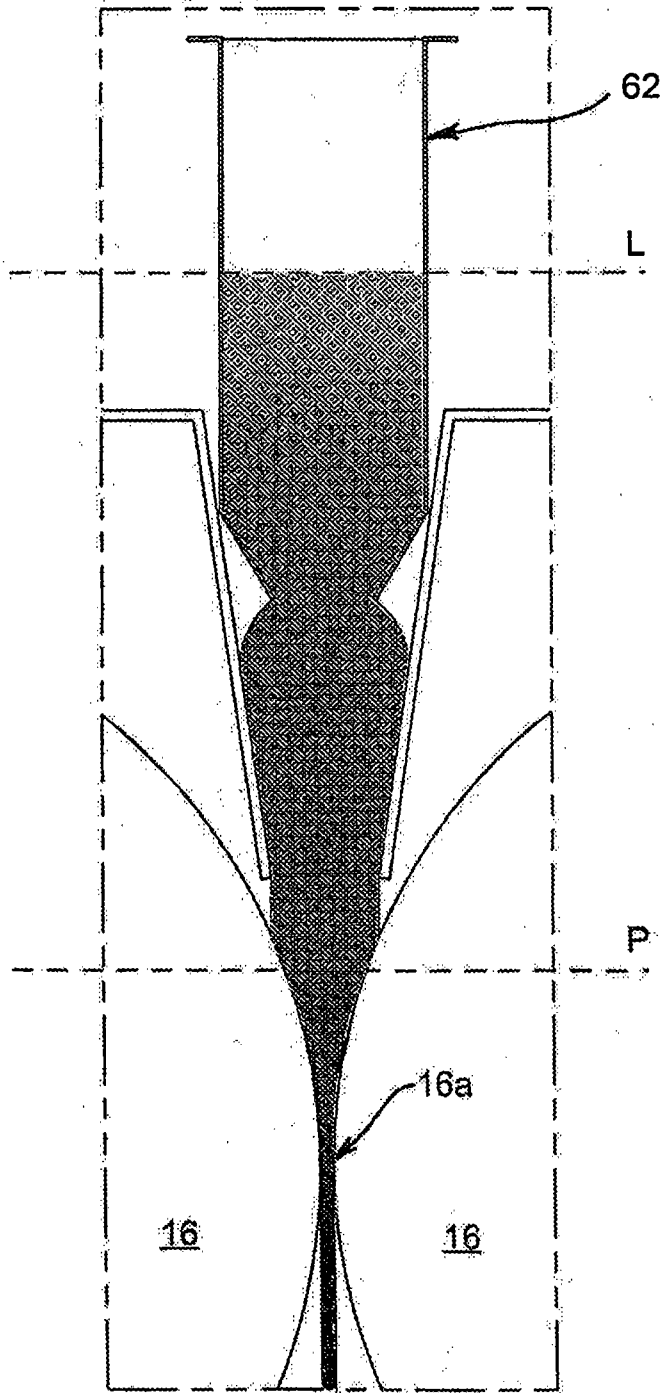


图5

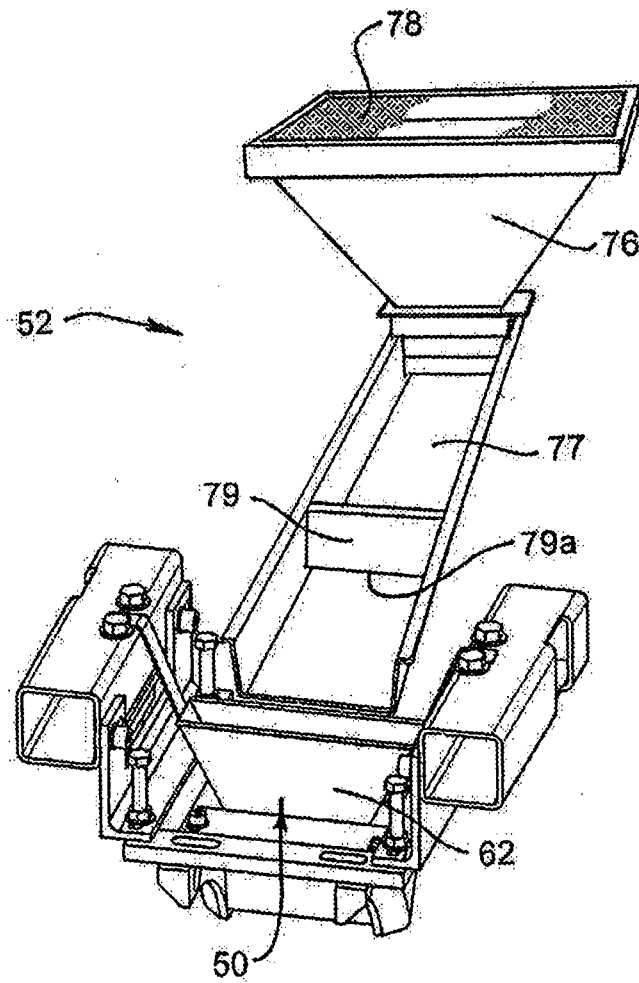


图6

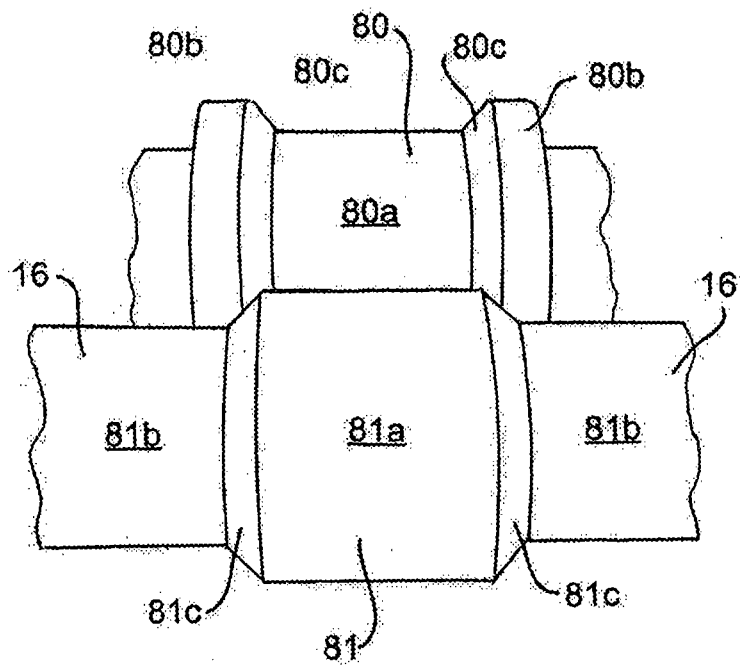


图 7